

Cubiertas vegetales en olivar y viñedo: balance de diez años en relación al agua del suelo y su monitorización

Pastor J.¹, Benítez M.¹, Hernández A. J.²

Resumen

El marco conceptual de este trabajo se sitúa en la ingeniería ecológica necesaria para una sostenibilidad de cultivos leñosos en ambientes mediterráneos semiáridos. Se trata de articular la gestión de varios componentes de estos agroecosistemas en relación a optimizar el agua en el suelo sin regadío de las cubiertas.

Se presentan las estrategias de manejo de cubiertas vegetales ("malas hierbas" y leguminosas autóctonas) en relación al régimen hídrico. En los últimos diez años se ha venido monitorizando la humedad de los suelos de un olivar y un viñedo ecológicos, mediante técnicas tradicionales (medidas gravimétricas, seguidas de medidas de SWRC) a diferentes profundidades en los diferentes tratamientos. Recientemente se está haciendo la monitorización de la humedad mediante equipos Dataloggers EM5 y sondas de humedad ECH₂O de la casa Decagon. Se muestran los principales resultados obtenidos hasta el momento, así como la puesta a punto de la nueva técnica aludida.

Palabras clave: humedad edáfica, cubiertas vegetales, tecnologías emergentes.

Abstract

Plant covers in olive grove and vineyard: ten years balance in relation to soil water and its monitoring

The conceptual framework affects necessary ecological engineering for the sustainability of woody cultivations in semiarid Mediterranean environments and tries to articulate the management of several components of these ecological agroecosystems to optimize soil water without covers irrigation.

This report describes ways of managing plant covers ("weeds" or native legumes) in relation to the prevailing rainfall regimen. Over the past 10 years, we have been monitoring soil moisture levels in an extensive olive plantation and vineyard at different depths under the different plant canopies through standard procedures (gravimetric followed by soil water retention curve, or SWRC, measurements). More recently, these measurements are being undertaken using EM5 Dataloggers and ECH₂O probes supplied by Decagon. We present our main results along with the methods developed for this new technology.

Key words: soil moisture, plant covers, emergent technologies.

Introducción. Objetivos

Este trabajo está centrado en la sostenibilidad de los cultivos leñosos más emblemáticos del territorio de Castilla-La Mancha, en condiciones semiáridas y sobre suelos arenosos muy empobrecidos. Pasar de unos tipos de uso del suelo a otros que permitan ir haciendo más sostenibles estos cultivos, implica investigar acerca de las estrategias necesarias para este fin. El objetivo a largo alcance se sitúa en la identificación de procesos diferenciales inducidos por los manejos de distintas cubiertas vegetales que nos permitan establecer pautas de actuación que optimicen simultáneamente la economía hídrica y la sustentabilidad de estos agroecosistemas.

Tanto el uso de las cubiertas herbáceas para impedir la erosión del suelo y propiciar también la retención del agua de precipitación en el mismo en una agricultura de secano, así como la baja incidencia de las mismas en la obtención del agua del suelo por los cultivos leñosos, se muestran hoy como tecnologías emergentes para la gestión de ambos recursos naturales (agua y suelo). Por otra parte, se hace cada vez más imprescindible el uso de nuevas técnicas que permitan una monitorización de datos automatizados procedentes de los escenarios reales (en campo). Se presentan ahora los principales logros obtenidos durante los diez últimos años en ensayos realizados en la Finca Experimental de La Higuera del CSIC (Sta. Olalla, Toledo).

¹ IRN Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC (Madrid).

E-mails: jpastor@ccma.csic.es; ebvbg77@ccma.csic.es

² Dpto. Ecología, Universidad de Alcalá (Madrid). E-mail: anaj.hernandez@uah.es

Materiales y métodos

El trabajo se está llevando a cabo en un olivar de 7,5 ha en la Finca Experimental de la Higuera, CCMA CSIC (Sta. Olalla, Toledo), situada en un territorio de carácter semiárido, con lluvias irregulares y, en muchos casos torrenciales, favoreciendo durante siglos los fenómenos de escorrentía y pérdida de suelo. Las características generales de este territorio, así como las del suelo de partida en los experimentos, se describen en Hernández *et al.*, (1997, 2005) y Pastor *et al.* (2000), diremos no obstante, que en ambos suelos partíamos de porcentajes muy bajos de C orgánico (0,20-0,29 %) y N total (0,022-0,027 %). En el olivar se dispusieron parcelas de 96x12 m mediante un diseño estadístico mostrado también en los trabajos citados. El viñedo estudiado se encuentra igualmente en La Higuera y se ubica en la zona de denominación de origen "Mérida", tiene una extensión de 4 ha y sus características generales se describen en Hernández *et al.* (1997). El diseño experimental es de bloques al azar con tres replicaciones. Las parcelas son de 51x3m, que corresponden a 17 cepas a un marco de 3x3m. El nº total de parcelas es de 15.

En la Figura 1 se muestran los sistemas de manejo empleados en el olivar y viñedo.

Figura 1. Sistemas de manejo empleados en el olivar y viñedo durante 10 años.

<ul style="list-style-type: none">* Cubiertas de veza, empleando semilla comercial. Esta leguminosa se siembra cada año en el mes de noviembre; en el momento de la floración se realiza su siega mecánica con desbrozadora, tratando de conseguir que no compita por el agua con el olivo, al tiempo que se dejan temporalmente los restos vegetales sobre el suelo antes de ser enterrados a mediados de la primavera.* Cubiertas con tréboles subterráneos: Una mezcla de los cultivares Nungarin, Daliak y Esperance de <i>Trifolium subterraneum</i> fue sembrada en otoño del 1º año, a razón de 15 Kg. /ha; todas las semillas se sembraron previamente inoculadas con <i>Rhizobium trifolii</i>. Los tréboles se han ido autosembrando en los años sucesivos.* Cubiertas de vegetación arvense, procedente del banco de semillas del olivar. A la mitad de la primavera de cada año se realiza su siega mecánica con desbrozadora, para favorecer la no competencia por el agua con el cultivo. Ello favorece el desarrollo de las leguminosas de porte rastrero y perjudica principalmente a las auténticas malas hierbas, muchas de porte erguido. Los restos vegetales se dejan sobre el suelo.* No-laboreo, con empleo de herbicidas (glifosato, simazina y diurón).* Laboreo convencional: se emplean parcelas-testigo con el manejo habitual en la zona.	<ul style="list-style-type: none">* Laboreo habitual realizado según usos y costumbres del agricultor de la zona, (dejando el suelo libre de malas hierbas todo el año). El número de labores por año oscila entre 4 y 6.* Cubiertas de trébol subterráneo, semejante al olivar* Cubiertas de vegetación arvense en las que con el manejo se propicia el desarrollo de las leguminosas espontáneas de porte rastrero mediante un proceso de generación de cubiertas de leguminosas por medio de la "exportación de heno" procedente de las parcelas de vegetación arvense (malas hierbas), excepcionalmente desarrolladas en el olivar de esta finca. El suelo permanece sin labrar dejando crecer libremente la hierba. Se utiliza la siega mecánica para realizar dos cortes al año (uno al inicio de la primavera y otro al final de la misma).* No Laboreo con empleo de herbicidas (glifosato y simazina).* Incorporación de los restos de poda (parcelas de labrado más sarmiento)
---	---

MANEJOS SEGUIDOS DURANTE 10 AÑOS EN EL OLIVAR

Las características de una cubierta viva ideal para proteger los suelos de estos cultivos en ambiente mediterráneo han sido señaladas repetidamente en los últimos años. Hemos optado por emplear cubiertas vegetales que cumplan con más de un requisito: que detengan la erosión, que se adapten a las condiciones ambientales del territorio, que puedan ser, a la vez, económicas y fácilmente manejables. Para ello un estudio previo de las condiciones ecoedáficas de ambos cultivos, nos llevó a la

elección para las cubiertas de la veza y de ecotipos temprano-medios de trébol subterráneo. Estos últimos por su porte rastrero, con bajo desarrollo en altura, rápido crecimiento, desarrollo radicular superficial, adaptación al régimen de precipitaciones, baja combustibilidad, capacidad de captar/movilizar nutrientes, capacidad de autosembrarse y poder ser poco competitivos con el cultivo leñoso. El tipo de manejo favoreció la presencia de leguminosas espontáneas con una abundancia creciente. Se decidió asimismo, propiciar el incremento de dos de porte rastrero, *Ornithopus compressus* y *Biserrula pelecinus*. Sin duda, esta alternativa ayuda a la conservación de la flora autóctona, y el saberla manejar trabaja en beneficio de una agricultura ecológica.

A lo largo de los años se mantuvo el primer diseño experimental llevado a cabo, en el caso del olivar, tal como se muestra en Hernández et al. (1997, 2002a). Mientras que en el viñedo el diseño de manejo que, durante años consecutivos, veníamos realizando, concluyó con resultados satisfactorios en orden a la detención de la erosión del suelo en las parcelas con cubiertas herbáceas. Sin embargo, el éxito de las mismas, empezó a afectar la producción de uva, valorada exclusivamente en términos económicos, especialmente en los años secos. Debido a ello, se ha iniciado un sistema compensatorio de manejo, en el que, una vez conseguida una cubierta apreciable, especialmente de leguminosas, una de las calles que rodea las vides se labra y la otra no. Con este nuevo manejo de las cubiertas se pretende conseguir mejorar “el fondo de fertilidad” del suelo de todas las zonas del cultivo, al tiempo de mantener bajo control el porcentaje de recubrimiento herbáceo para que afecte lo menos posible, a la producción de uva, al entrar las cubiertas en competencia por el agua con el cultivo leñoso. “Banco de semillas” y “fondo de fertilidad”, se nos convierten así en dos cuestiones que debemos apoyar para una sostenibilidad del sistema. Y lógicamente, se hace necesario emplear lo que se ha venido denominando últimamente técnicas de “ingeniería ecológica” (Bergen et al., 2001; Gattie et al, 2003. Es decir, seleccionando procesos hacia los que el agrosistema emerge en respuesta a las condiciones ambientales concretas (Kangas, 2004). A partir de los últimos años se han incorporado de manera generalizada a los tratamientos de ambos cultivos, cantidades similares de los restos de poda obtenidos.

Los datos climatológicos durante los años de la experimentación se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Precipitación media en el observatorio meteorológico de La Higuera en el periodo de experimentación y valores medios en el periodo 1947-2006.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual	Agrícola
97	113,7	2,3	0,0	47,5	69,2	5,4	31,0	6,8	13,6	22,8	212,6	90,1	615,0	636,9
98	41,7	46,8	32,3	54,9	103,5	6,6	0,0	12,0	63,9	24,8	16,6	40,2	443,3	292,1
99	23,9	13,9	20,1	27,0	50,7	9,2	1,8	0,0	33,5	155,1	5,8	35,6	376,6	436,5
00	13,9	8,9	25,2	104,4	52,1	1,7	0,3	0,0	6,6	34,9	112,2	130,3	490,5	649,2
01	132,8	52,8	75,4	8,8	37,7	7,5	46,4	3,8	32,9	136,1	15,9	19,5	569,6	541,6
02	68,8	8,8	59,6	91,3	56,2	31,9	0,2	20,4	42,9	54,1	105,5	80,5	620,2	499,9
03	80,0	57,3	32,9	31,3	6,3	4,1	0,0	5,0	32,1	146,3	53,2	58,1	506,6	593,0
04	13,1	54,5	65,5	58,7	68,9	7,4	1,5	33,7	1,8	122,9	20,5	25,7	474,2	281,8
05	0,0	44,7	27,5	10,4	14,3	4,6	0,0	9,4	16,0	108,2	26,7	37,7	299,5	450,2
06	25,5	38,7	76,9	35,9	21,8	45,9	10,3	6,6	11,9	121,0	139,3	38,9	572,7	311,1
Medias														
47-06	53,4	33,0	38,4	41,6	50,1	13,4	8,2	9,7	26,5	78,7	71,5	71,6	489,0	499,1

V.Max	132,8	57,3	76,9	104,4	106,4	45,9	46,4	33,7	63,9	155,1	212,6	151,5	620,2	649,2
V.Min	0,0	2,3	0,0	8,8	6,3	1,7	0,0	0,0	1,8	3,6	5,8	19,5	299,5	281,8
Dv.típ	42,7	19,4	24,9	30,0	32,0	12,8	14,3	9,7	18,8	55,3	59,7	46,6	101,2	123,6

Operaciones de cultivo: Se utiliza un manejo ecológico en todas las parcelas a excepción del tratamiento de No laboreo, en el que se utiliza una mezcla de herbicidas (simacina 1 kg/ha + diuron 1,5 kg/ha + glifosato 720 cc/ha), para el control de la flora arvense. La aplicación de los herbicidas se realiza entre finales del mes de febrero y principios de marzo para conseguir que el cultivo, en el momento de la brotación, disponga en el suelo del máximo de las reservas hídricas y permita un pequeño recubrimiento del suelo durante el resto del año de necromasa vegetal herbácea. En el tratamiento convencional con laboreo, la eliminación de la flora arvense se realiza de forma mecánica, la primera labor coincide en el tiempo con el momento de la aplicación de los herbicidas en el tratamiento de No laboreo, las siguientes labores dependerán de la marcha pluviométrica del año, pero lo normal es que se dé una segunda labor en el mes de abril, una tercera en el mes de mayo y una cuarta en el mes de junio. Si el verano es lluvioso se dará una quinta o sexta labor. A las cubiertas permanentes de flora autóctona y de tréboles se las somete a varios pases de desbrozador mecánico y a una altura del suelo entre 2 y 3 cm, se dan normalmente tres pases que coinciden con las tres primeras labores (marzo, abril y mayo), después la falta de agua hace que la cubierta permanezca seca e innecesario su cuidado. Este manejo favorece lógicamente a las hierbas de maduración temprana y a las rastreras. Para el seguimiento de la flora arvense se realiza un inventario completo en cada parcela en la primavera de cada año, así como una medida del recubrimiento de cada especie como estimación de la abundancia de la misma.

Las técnicas para la determinación de la humedad, se muestran en Hernández et al. (2002a y 2005a), exponiendo a continuación una breve descripción de la técnica empleada en la actualidad, para la monitorización de la humedad edáfica, ya que no ha sido descrita los trabajos citados anteriormente. La monitorización de la humedad del suelo mediante las técnicas tradicionales, está siendo sustituida mediante la tecnología que describimos a continuación. Se instalaron al principio cinco estaciones de monitorización de humedad del suelo, equipadas con Dataloggers EM5 y sondas de humedad ECH₂O de la casa Decagon. Dos meses más tarde, los Em5 fueron sustituidos por los Em50, más estables y con mayor autonomía. Cada estación consta de un datalogger con capacidad de registro en cinco canales y tiempos de espera programables. Uno de los canales se reservó como puerto de comunicación y a los cuatro canales restantes se conectaron sondas de humedad de 10cm, 10 cm., 20 cm. y 20 cm. de longitud.

Estas sondas se ubicaron en los vértices de un cuadrado de 1 m de lado y a las profundidades de lectura correspondientes a 0-10 cm., 10-20 cm., 20-40 cm. y 40-60 cm. respectivamente. Las sondas utilizadas tienen una resolución de un 0.1 % y una precisión tras su calibrado de +/-1 %. La capacidad de almacenamiento de los dataloggers permite el registro de datos a intervalos de una hora durante periodos superiores a un mes y autonomía de varios años. Esta capacidad de obtención de información nos permitirá trabajar con series temporales adecuadas para la detección de fenómenos de transporte, translocación y redistribución de agua en el suelo que de otra manera no sería posible efectuar. El tratamiento numérico que de estas series se pretende hacer, incluye tanto una aproximación clásica al estudio de las mismas, con la correspondiente identificación de sus componentes, como una aproximación a su análisis estructural mediante técnicas de SSA que permitan obtener una información más apropiada de su comportamiento cíclico y estacional mas "real" desde un punto de vista diacrónico.

Para los análisis químicos del suelo se tomaron tres muestras por parcela de la capa superficial y las determinaciones se realizan según Hernández y Pastor (1989). Los

análisis estadísticos efectuados para evaluar la respuesta a la producción de los diferentes manejos, fueron análisis de la varianza de una vía con la aplicación del test posthoc de Tukey, para lo que se empleó el paquete estadístico SPSS v.12.

Resultados y discusión

Evaluando el aumento de la biodiversidad en las cubiertas vegetales. La primera etapa necesaria para la conversión de un olivar y un viñedo, con manejo convencional a otro ecológico, está sujeta a ir aumentando la diversidad de especies y conservando los reductos de la vegetación espontánea (Pajarón, 2005). En relación a esta cuestión podemos decir, en primer lugar, que la flora procedente del banco de semillas que tenía el suelo de ambos cultivos, en el que solamente se había aplicado durante 50 años el manejo convencional, hasta el inicio del experimento, es muy variada; resultado semejante al mostrado por Saavedra y Pastor (2002). Sin embargo, en los primeros años del cambio de uso, las especies fueron pocas, como corresponde a las primeras fases de una sucesión secundaria, aunque comenzaron a aparecer leguminosas autóctonas. Estas especies fueron ocupando en años sucesivos más protagonismo en las cubiertas. En la Tabla 2 puede verse la diversidad y el recubrimiento de leguminosas. Algunas de las otras especies inventariadas se pueden contemplar desde la terminología de “vegetación arvense”, si bien varias de ellas son vistas como genuinas “malas hierbas”. Desde una perspectiva ecológica, ciertas de estas especies sirven, no solo para preservar de la erosión de la capa superficial del suelo, sino también de asilo o refugio a depredadores que ayudan a controlar las plagas.

Tabla 2. Biodiversidad (media del nº total) y recubrimiento de leguminosas (valor medio del porcentaje) en parcelas de “malas hierbas” en el olivar. La + significa solamente presencia.

Leguminosas	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º
Riqueza (nº total sp)	7	8	8	9	10	10	12	10	8	10
<i>Ornithopus compressus</i>	+	6	16	61	32	55	35	43	12	25
<i>Biserrula pelecinus</i>	+	4	14	32	10	37	23	22	9	18
<i>Trifolium arvense</i>	+	5	4	5	2	3	2	1	1	4
<i>Lupinus angustifolium</i>	+	1	1	3	+	2	2	1	+	1
Otras leguminosas	2	7	16	10	3	9	13	5	2	3

Otras leguminosas: *T. angustifolium*, *T. hirtum*, *Trigonella polyceratia*, *Vicia lutea*, *V. benghalensis*, *V. articulata* y *V. sativa*

Evolución de las cubiertas vivas en el viñedo. La situación de partida que pudimos observar al principio del experimento, fue la existencia de 46 especies, con un recubrimiento cercano a un 80% y con el 20% restante de suelo desnudo. Se pudo observar la evolución del recubrimiento herbáceo de las parcelas con cubierta de malas hierbas, y de trébol subterráneo. En las primeras el porcentaje de suelo desnudo permaneció elevado (52-53%) los dos primeros años de observación y descendió luego al 18-20%.

En todas las parcelas en las que se sembró trébol subterráneo, crecieron y semillaron de forma óptima, tanto los cultivares más precoces como el más tardío, alcanzando recubrimientos elevados y creando en el suelo una potente trama

protectora contra la acción erosiva de las tormentas primaverales. La regeneración natural en el otoño por autorresiembrado es la característica esencial de esta especie. Una porción notable de semillas duras (dormancia fisiológica o cuticular) facilita la regeneración después de un accidente fisiológico (frío o sequía por ej.), llegando a tener en otoño coberturas de un 50% de media en sus parcelas (Hernández *et al.*, 2000). Estos datos parecen muy satisfactorios para el control de la erosión, dado que en la mayor parte del año, nunca ha llegado a haber un 50% de suelo desnudo y en el otoño del tercer año, solamente un 17% para las parcelas con siembra de trébol y de un 12% para las cubiertas de malas hierbas. Vemos así que el manejo realizado en las cubiertas vegetales ha sido exitoso, tanto en el caso de las cubiertas con especies sembradas (trébol subterráneo y veza en el olivar y únicamente trébol, en el viñedo), como en las cubiertas de "malas hierbas", residentes en el banco de semillas del suelo. En ellas se ha evolucionado desde detectar inicialmente una escasa presencia aislada de las especies mencionadas, a una cobertura elevada de las leguminosas de porte rastrero (Hernández *et al.*, 1998, 2001b, 2002b y c; Pastor *et al.* 2000, 2003, 2004 y 2005). A la abundancia de leguminosas, se añade la persistencia de las mismas y su plasticidad o flexibilidad, ante los avatares climáticos, ya que se mantienen en el sistema, aunque disminuyen en años secos, pero se recuperan en años de mayor humedad (Hernández *et al.* 2001b, 2002b y c; Pastor *et al.* 2000, 2003, 2004, 2005).

En el viñedo, las parcelas con cubiertas de tréboles subterráneos permanentes, han constituido una "cuna" para el desarrollo de toda una comunidad vegetal que ha ido invadiendo las parcelas circundantes con otros tratamientos: "malas hierbas", laboreo y labrado con restos de poda). El trébol se ha ido introduciendo espontáneamente, constituyendo a su vez, un componente destacado de las cubiertas. El manejo hizo que pasáramos de un porcentaje total de esta especie en el 1º año de un 1-2 %, a porcentajes elevados, superiores al 50% en años no muy secos, y además bastante estables, respecto al régimen de precipitación en el territorio (Hernández *et al.* 1997, 1998, 2002a y b, 2004, 2005; Pastor y Hernández 2003, 2005).

La existencia de las cubiertas en ambos cultivos cortó de raíz a partir del 1º año, los procesos erosivos, además de permitir recuperar buenas especies pascícolas, que por el manejo de la agricultura convencional durante más de 50 años, estaban apenas presentes en dichos sistemas, así como la recuperación de procesos ecológicos favorables a la conservación de los suelos (mejor dinámica de nutrientes) (Hernández *et al.* 2001, 2002a, b y c, 2003b, 2004, 2005a y b; Pastor y Hernández 2003, 2004, 2005, 2006, 2007; Pastor *et al.* 2000, 2007).

Evaluando el aporte de C y N al suelo por las cubiertas Un balance del C orgánico y del N total se muestra en las Tablas 3 y 4. En ellas puede verse en las cubiertas de vegetación arvense y de trébol, a partir del 5º año, un aumento progresivo de C y N.

Tabla 3. Niveles de C orgánico (%) en el suelo del olivar.

AÑOS	Veget. arvense	Veza	T. subterráneo	Laboreo	No laboreo
Inicio	0.21	0.20	0.22	0.23	0.29
1º	0.26 ± 0.06	0.21 ± 0.05	0.25 ± 0.92	0.28 ± 0.03	0.28 ± 0.04
2º	0.29 ± 0.04	0.29 ± 0.04	0.26 ± 0.05	0.29 ± 0.06	0.12 ± 0.10
3º	0.32 ± 0.04	0.29 ± 0.03	0.31 ± 0.02	0.25 ± 0.04	0.32 ± 0.04
4º	0.21 ± 0.02	0.24 ± 0.02	0.18 ± 0.02	0.21 ± 0.09	0.07 ± 0.04
5º	0.33 ± 0.13	0.18 ± 0.02	0.34 ± 0.16	0.19 ± 0.03	0.17 ± 0.04
6º	0.30 ± 0.07	0.27 ± 0.04	0.32 ± 0.08	0.23 ± 0.04	0.18 ± 0.05
7º	0.42 ± 0.29	0.30 ± 0.02	0.61 ± 0.54	0.30 ± 0.05	0.21 ± 0.09
8º	0.43 ± 0.46	0.18 ± 0.03	0.47 ± 0.55	0.15 ± 0.04	0.19 ± 0.14
9º	0.46 ± 0.06	0.23 ± 0.10	0.33 ± 0.12	0.23 ± 0.33	0.27 ± 0.14
10º	0.53 ± 0.15	0.36 ± 0.04	0.67 ± 0.20	0.38 ± 0.03	0.44 ± 0.06

Tabla 4. Niveles de N total (%) en el suelo del olivar.

AÑOS	Veget. arvense	Veza	T. subterráneo	Laboreo	No laboreo
Inicio	0.022	0.024	0.023	0.025	0.027
1º	0.019 ± 0.001	0.016 ± 0.003	0.017 ± 0.001	0.016 ± 0.003	0.012 ± 0.002
2º	0.012 ± 0.002	0.017 ± 0.001	0.012 ± 0.004	0.025 ± 0.010	0.013 ± 0.005
3º	0.022 ± 0.002	0.026 ± 0.003	0.028 ± 0.004	0.026 ± 0.005	0.021 ± 0.001
4º	0.017 ± 0.004	0.014 ± 0.003	0.013 ± 0.003	0.015 ± 0.005	0.012 ± 0.015
5º	0.025 ± 0.012	0.019 ± 0.001	0.030 ± 0.016	0.020 ± 0.001	0.014 ± 0.002
6º	0.023 ± 0.009	0.018 ± 0.002	0.025 ± 0.007	0.019 ± 0.005	0.012 ± 0.003
7º	0.030 ± 0.025	0.029 ± 0.012	0.052 ± 0.036	0.017 ± 0.003	0.017 ± 0.011
8º	0.046 ± 0.032	0.023 ± 0.004	0.063 ± 0.047	0.017 ± 0.005	0.027 ± 0.011
9º	0.049 ± 0.005	0.027 ± 0.008	0.065 ± 0.004	0.023 ± 0.010	0.030 ± 0.005
10	0.054 ± 0.008	0.036 ± 0.004	0.069 ± 0.21	0.034 ± 0.002	0.041 ± 0.007

El sistema de manejo de las cubiertas de vegetación espontánea y de trébol, con siega de las especies de "malas hierbas" de porte elevado, junto con la preeminencia alcanzada por las leguminosas de porte rastrero, ha reducido la abundancia de las malas hierbas más dañinas de estos cultivos. Esto no se consigue en los dos primeros años, pero prácticamente es posible hablar de un cierto efecto de control a partir de un tercer año de las cubiertas. Este resultado está de acuerdo con lo que sabemos de la sucesión ecológica de las comunidades herbáceas en este territorio de suelos sobre sustratos arcósicos (Hernández et al. 2003a). Ahora bien, como ya comentamos, el éxito de las cubiertas vegetales, alcanzado cierto nivel, ha empezado a afectar la producción de fruto, especialmente en los años secos. Inicialmente se detectó en el viñedo y, posteriormente en el olivar. Esto ha implicado llevar a cabo el sistema de "pequeñas rotaciones" periódicas, ya iniciadas en el viñedo. Este año se inician en el olivar, con ello se pretende comprobar si dicho manejo puede tener las ventajas siguientes: (i) minimizar, sin que mengüen en exceso, las cubiertas instaladas de leguminosas de porte rastrero que se mantienen en el sistema con los efectos beneficiosos consiguientes; (ii) cortar el ciclo de desarrollo de malas hierbas perennes de porte rastrero, como la grama, reduciendo su influencia; (iii) permitir en los meses secos la disponibilidad por parte del cultivo de mayor cantidad de lluvia, con el consiguiente beneficio para el olivo y la viña. Con este manejo pensamos que mejora "el fondo de fertilidad" del suelo de todas las zonas de los cultivos, al tiempo que se trata de mantener más controlado el recubrimiento herbáceo, para que afecte menos a la producción de uva y aceituna, al entrar en competencia con los cultivos.

Parte del "banco de semillas" actual en las parcelas del viñedo, con cubiertas, procede del banco de semillas del olivar de la finca, con muchas leguminosas que fue llevado "en fresco" desde las mismas a parcelas análogas del viñedo. La "exportación de heno" se ha realizado una sola vez y un año antes de comenzar el establecimiento del sistema de rotación. En la Tabla 5, se puede observar el enriquecimiento de especies de leguminosas no existentes inicialmente en las cubiertas del viñedo, con el manejo efectuado. Por otra parte dichas especies han ido colonizando las parcelas con cubiertas iniciales de trébol subterráneo. Se ha

conseguido pues que la cobertura de estas importantes especies pase a ser un 1% al comenzar los ensayos de cubiertas en el viñedo, a valores más elevados. Además, el trébol ha ido colonizando las parcelas de vegetación arvense, hasta tener algo más de un 10% de cobertura en las mismas. Además, se ha disminuido el recubrimiento de esta especie casi a la mitad, cuestión ésta que parece beneficioso en orden a la producción de uva (ver Tabla 5).

Tabla 5. Porcentajes de los recubrimiento de leguminosas (M. H. cubiertas de malas hierbas y T cubiertas con trébol subterráneo) en el viñedo.

Especies	1º diseño manejo (1997)		2º diseño manejo (2004)	
	M.H	T	M.H	T
<i>Ornithopus compressus</i>	-	-	17,3	11,3
<i>Biserrula pelecinus</i>	-	-	10	2,7
<i>Lupinus angustifolium</i>	0,8	-	+	-
<i>Trifolium arvense</i>	-	-	8,3	1,7
<i>Trifolium subterraneum</i>	-	60	10,7	36,7
Otras leguminosas*	< 1	<1	2	2
Diversidad (Nº sp)	73	44	69	53
Cobertura suelo (%)	47	90	60	90,7

*Otras especies de leguminosas que aparecen son: *Lathyrus angulatus*, *Medicago polymorpha*, *M. rigidula*, *Trifolium angustifolium*, *T. campestre*, *T. cernuum*, *T. glomeratum*, *T. hirtum*, *T. tomentosum*, *Trigonella polyceratia* y *Vicia bengalensis*

Tabla 6. Producción del viñedo (kg/ha).

1º Manejo	1997	1998	1999	2000	2001
Laboreo	6338 a	4589 a	8418 a	4228 ab	3123 a
Laboreo + sarmientos	4425 a	3781 a	6907 a	5370 a	2404 ab
Cubierta Malas Hierbas	6017 a	2826 a	3973 b	3808 b	2068 b
Cubierta trébol subterráneo	6337 a	3677 a	3398 b	3259 b	1682 bc
No-Laboreo	4629 a	2937 a	7021 a	2166 c	1150 c
2º Manejo (diseño rotación)	2003	2004	2005	2006	
Cubierta en calles alternas	6844 a	3869 a	5219 a	3337 a	
Testigo labrado (Exp. NL)	6580 a	5203 a	6566 a	4355 a	

Valores seguidos por letras distintas en una misma fila difieren significativamente ($P < 0,05$; test de Tukey).

La forma tradicional de laboreo ha sido la práctica con la que se obtenían mejores rendimientos económicos en orden a la producción de este viñedo. Hay que comparar estos resultados con los expuestos en Hernández et al (2004) y tener en cuenta además, que 1999-2000, fue un año agrícola considerado como húmedo (Hernández et al, 2005). Entre el laboreo enterrando los sarmientos picadosm y el laboreo sólo, no hay diferencias significativas en los cinco años estudiados con el 1º diseño de manejo. La diferencia con los otros tratamientos y, considerando la media de los 5 años, ha estado alrededor de un 30 %. El No laboreo tuvo una tendencia a la baja, dando peores resultados, los últimos años, que las cubiertas permanentes. En la actualidad, con el nuevo diseño no se aprecian diferencias entre labrar la viña y dejar una calle si y otra no con cobertura vegetal. Este resultado avala el diseño de rotación.

En la Tabla 7 podemos ver que no han existido prácticamente diferencias significativas entre los diferentes sistemas de manejo en cuanto a la producción de aceituna.

Tabla 7. Producción del olivar (kg/ha).

Tratamiento	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º	Media
Veg. arvense	1.085 a	2.754 a	163 a	1.438 b	92 a	759 a	39 b	132 ab	1.431 a	29 c	792
Trébol	1.160 a	2.582 a	229 a	2.148 a	182 a	486 a	54 b	74 b	1.566 a	5 c	849
Veza	1.922 a	2.685 a	103 a	1.979 a	145 a	756 a	93 ab	219 ab	1.650 a	171 b	972
Labrado	1.356 a	2.411 a	135 a	2.101 a	76 a	869 a	103 ab	496 a	1.838 a	241ab	963

Las diferencias de cosecha anual se han debido a efectos de la vecería, y a un mal control de la mosca en los años 2002 y 2003. El año 2004, un fuerte ataque de repilo produjo aborto del ovario, disminuyendo drásticamente la producción. El efecto de las cubiertas de malas hierbas y trébol, no están produciendo una disminución de cosecha importante (20%) cuando se compara con el tratamiento labrado, en los años de experimentación.

Los balances hídricos en relación a los tratamientos y climatología anual. Con el fin de poder ir profundizando en los momentos importantes de los balances hídricos, tanto para las cubiertas herbáceas como para el cultivo leñoso, hemos estimado en un principio, la humedad de los suelos, en forma ponderal, durante años sucesivos en el momento de la floración de los olivos (Pastor et al. 2000). La humedad en el suelo en el momento de la floración (primera quincena de junio), inicio del estío en este territorio, puede dar una imagen de la viabilidad de las cubiertas vegetales ensayadas en este cultivo. En general, es mayor el porcentaje de humedad en el suelo labrado durante los dos primeros años, pero lógicamente esta cuestión está relacionada con la climatología de cada año. Así, en un año húmedo no hubo apenas diferencias en la humedad del suelo en los diferentes tratamientos en el mes de mayo.

Cuando analizamos los datos de Precipitación (Tabla 1), y los relacionamos con las producciones medias de la viña de la finca (Hernández et al. 2004), pudimos observar, que precipitaciones de otoño-invierno de 160 mm eran suficientes para cubrir las necesidades hídricas de otoño e invierno (flora arvense y reservas hídricas del suelo). La cubierta vegetal permanente en la viña, obliga que las precipitaciones de los meses de abril y mayo tengan que ser suficientes para cubrir las necesidades de evapotranspiración de la cubierta herbácea, del cultivo y que dejen en el suelo una humedad equiparable a aquellos manejos en que el suelo no tiene cobertura vegetal. La hipótesis de partida era que las precipitaciones de los dos meses deberían superar 100 mm, pero estas condiciones se dieron sólo el 50% de los años (Tabla 1).

En el olivar, el efecto de las diferentes cubiertas (veza, vegetación arvense y trébol) se notó desde el principio del mes de marzo del primer año del ensayo. Aunque la veza se incorporó al suelo en la primera quincena de dicho mes para evitar el efecto de la competencia hídrica con el olivo, esta no se compensó hasta mediados del mes de mayo.

Las cubiertas de vegetación arvense se comportaron de forma similar y el suelo tuvo menos humedad con respecto a las parcelas sin cubierta vegetal, desde primeros del mes de marzo hasta primeros del mes de julio. Después, las lluvias de otoño recargaron el suelo por igual, en los diferentes tratamientos. Ello permitió que las diferencias de producción, a pesar de obtenerse menos kg./ha de aceituna, no hayan llegado a ser significativas en los primeros siete años. De todos modos, se realizó un estudio acerca de la competencia por el agua de las cubiertas con el cultivo (Hernández et al., 2005), permitiendo afirmar que el manejo realizado, ha sido adecuado.

Dado que la gestión que de la humedad del suelo realizan las cubiertas vegetales y los cultivos leñosos, con el deseo de mejorarla y tratar de minimizar la competencia por este escaso recurso sobre los cultivos, decidimos profundizar en su estudio monitorizando, mediante sondas a diferentes profundidades, su situación a lo largo del año. Así, en relación a los resultados obtenidos mediante sondas, haremos las siguientes consideraciones. El año 2006 se caracterizó, desde el punto de vista climatológico, por ser excesivamente húmedo (572,7 mm de precipitación frente a los 480 de media para el periodo 1950-2000 (Hernández et al. 2005), con una acusada sequía estival y un considerable aumento de las precipitaciones en otoño. Sin embargo, estas precipitaciones no tuvieron carácter torrencial, sino sostenido. Este es un factor a tener en cuenta a la hora de interpretar los fenómenos de infiltración y recarga de los perfiles de suelo en las parcelas estudiadas, pues las precipitaciones sostenidas que inciden

sobre morfologías con pendiente moderada posibilitan estos fenómenos (caso del viñedo estudiado), no sucediendo así en los regímenes torrenciales en los que pueden predominar los fenómenos de escorrentía sobre los de infiltración.

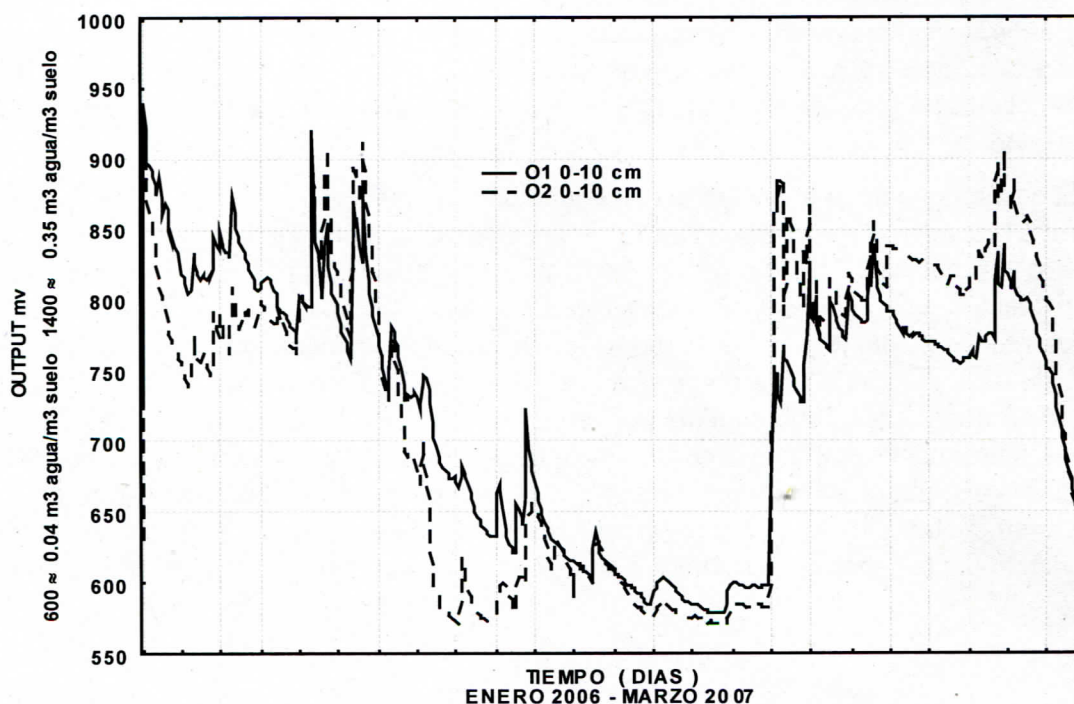
A lo anteriormente dicho debemos añadir que el otoño del año 2005 fue lluvioso y el invierno siguiente también presentó precipitaciones acusadas. No obstante, las condiciones de humedad del suelo en el año 2006, no han sido desde el principio las más adecuadas para la puesta en evidencia de elementos diferenciales en el comportamiento de los distintos manejos a los que han sido sometidas las parcelas de estudio. Así, las condiciones de humedad del suelo han sido extremas, tanto en régimen de déficit hídrico como en las de exceso de humedad. Sin embargo, se observan algunas pautas de comportamiento que deben ser destacadas.

Para el caso del olivar en el primer intervalo muestreado (0-10 cm), el manejo con laboreo da lugar a mayores contenidos de humedad del suelo durante el invierno, la primavera y el verano (que en este año pueden considerarse como de descarga del perfil). Pero tras las lluvias otoñales su contenido en humedad es inferior al del manejo con cobertura vegetal. En el intervalo 10-20 cm, el contenido de agua en el manejo con laboreo es sistemáticamente inferior al de cobertura vegetal. Y en el tramo 20-40 cm, la situación parece invertirse con respecto a la capa superficial, presentando mayor contenido hídrico en los periodos de invierno, primavera y verano (descarga) y mayor en otoño (recarga), (ver Figuras 2, 3, 4 y 5)

Así pues, para la interpretación de los comportamientos en el periodo otoñal (para este año en concreto), debe tenerse en cuenta que el suelo estaba prácticamente saturado, debido a los *inputs* sostenidos provenientes de las precipitaciones. No obstante, la posible clave de la interpretación está en la facilitación de la infiltración producida por el laboreo, y la presencia o ausencia de sistemas radicales en los primeros cm del suelo, consecuencia de los diferentes manejos. En el periodo de recarga, el suelo sometido a laboreo permite con mas facilidad la translocación de agua desde los horizontes mas superficiales a los mas profundos. Es por eso que en este periodo los tramos 0-10 cm y 10-20 cm presenten mas humedad en el manejo con laboreo, debido al transporte de agua a los horizontes inferiores.

En cualquier caso conviene tener en cuenta que la interpretación debe hacerse sin olvidar la existencia de dos procesos claramente diferenciados: el que se produce a nivel superficial, con mayor predominio de las transformaciones inducidas por los efectos mecánicos del manejo.

Fig. 2 y 3. Contenido de humedad del olivar 0-10 y 10-20 cm. (O1 labrado, O2 sin labrar)



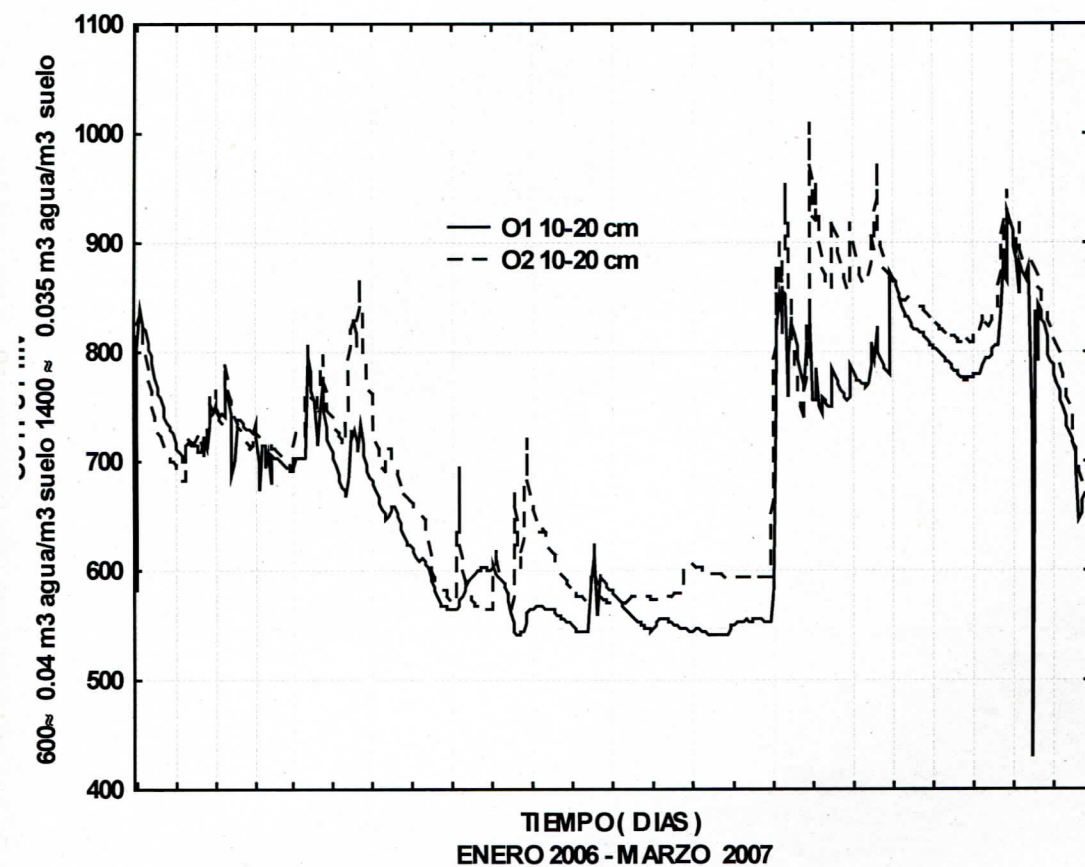


Fig. 4 y 5. Contenido de humedad del olivar 20-40 y 40-60 cm. (O1 labrado, O2 sin labrar)

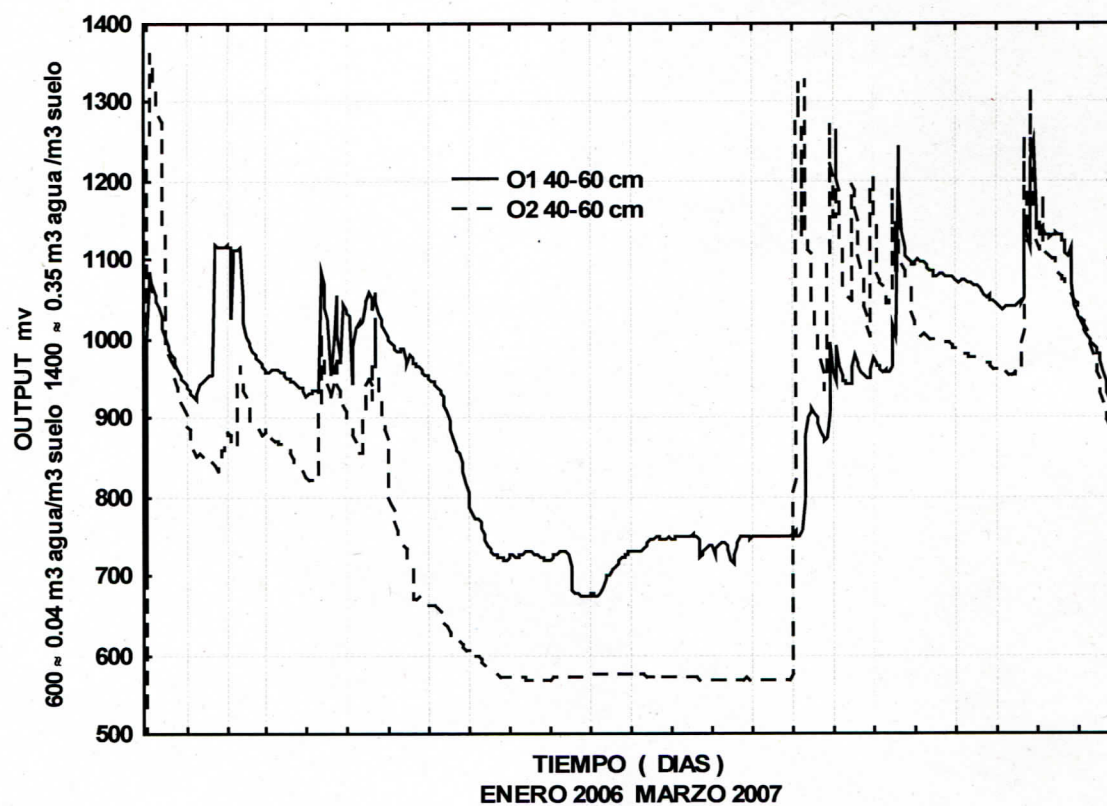
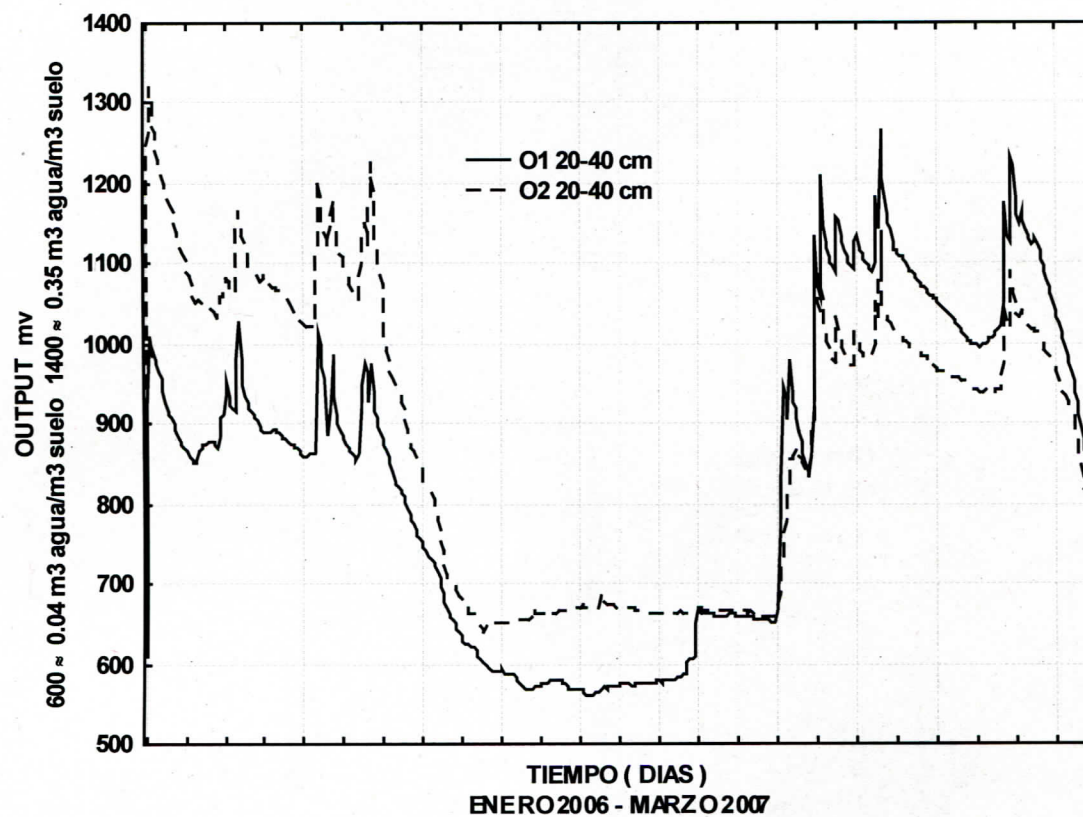


Fig. 6 y 7. Contenido de humedad del viñedo 0-10 y 10-20 cm. (V1 labrado, V2 y V3 labrado alternado)

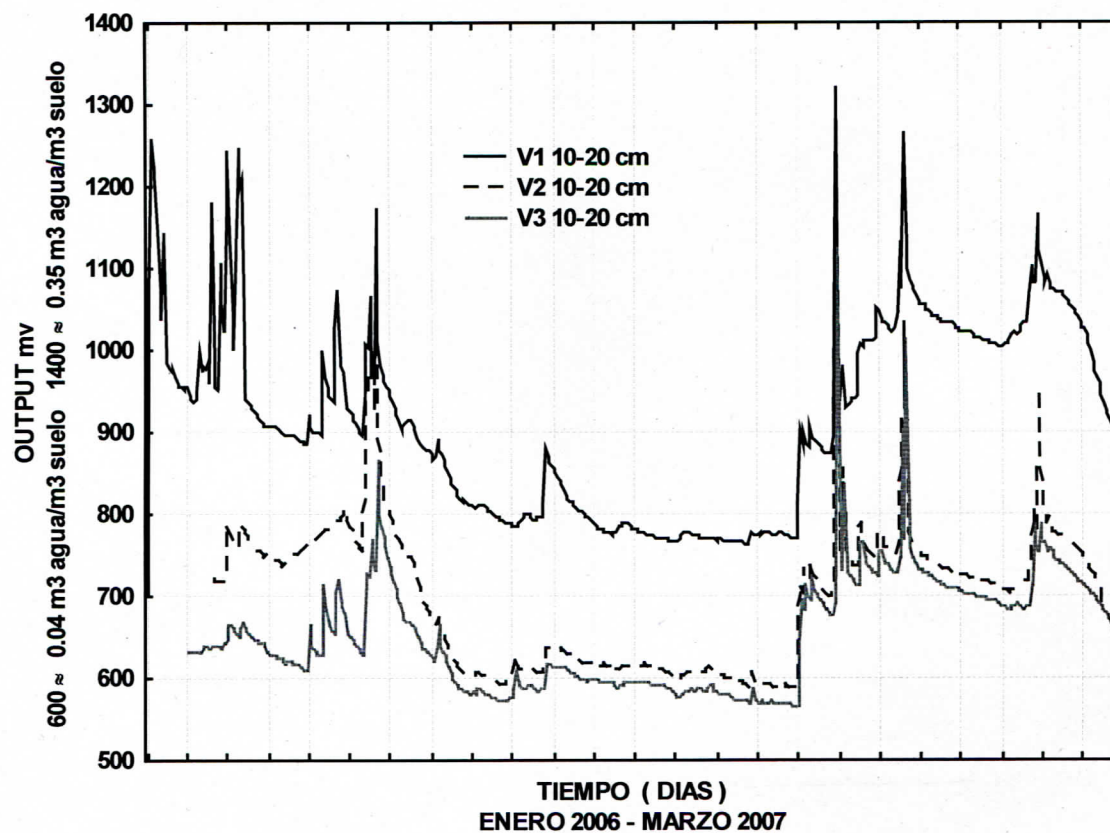
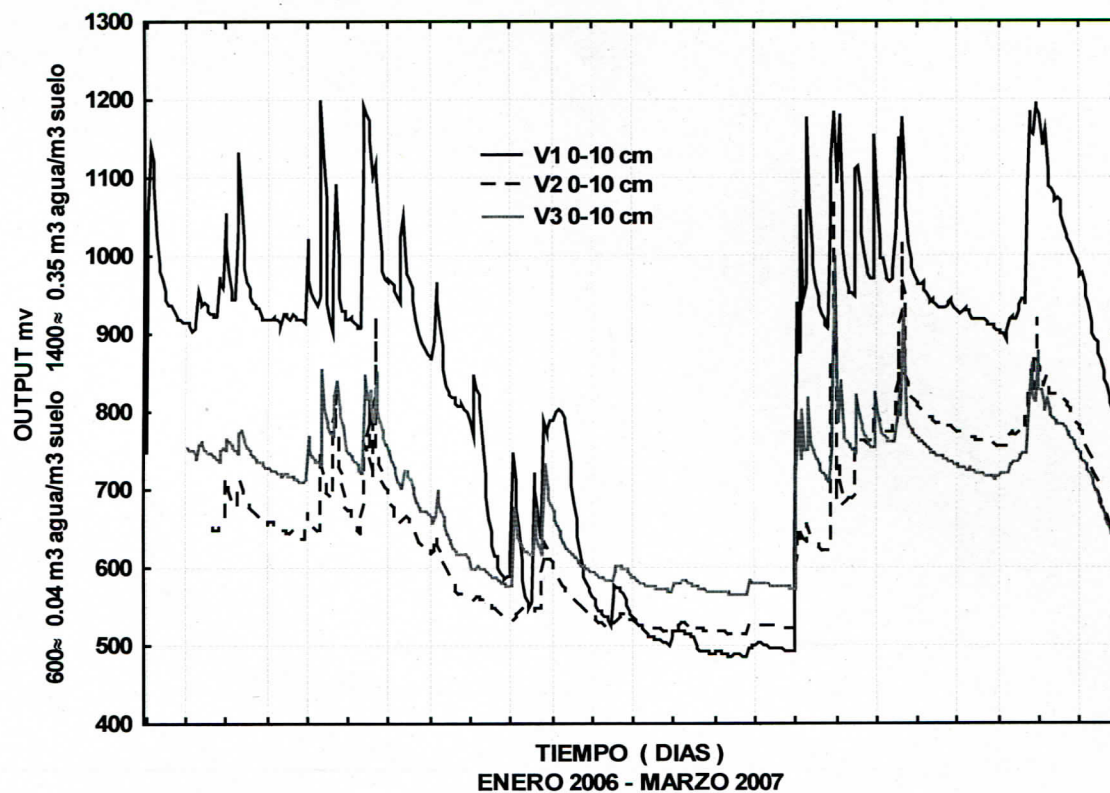
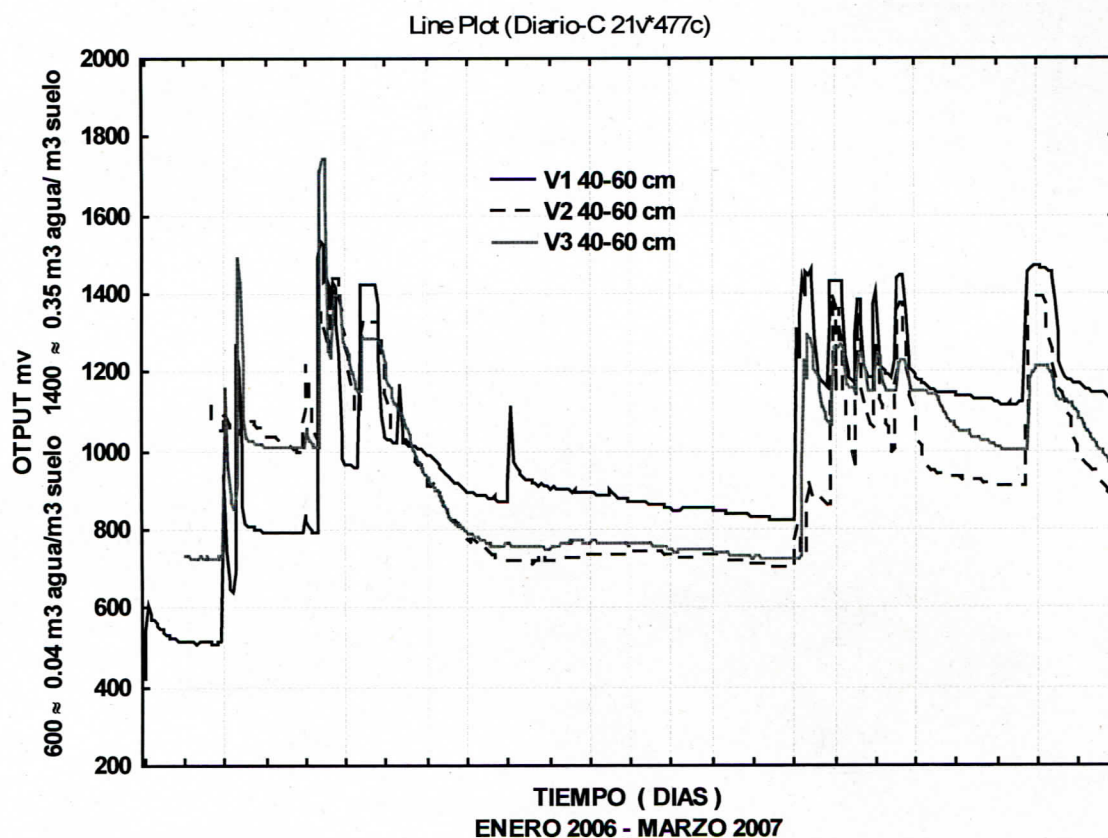
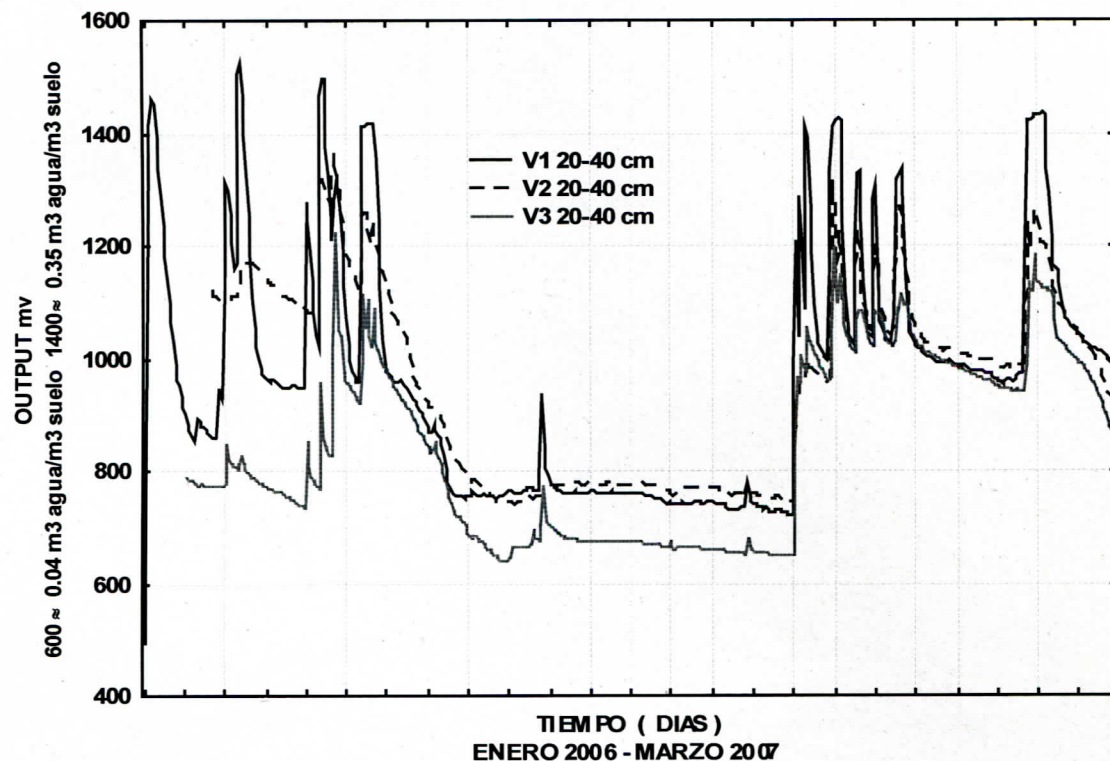


Fig. 8 y 9. Contenido de humedad del viñedo 20-40 y 40-60 cm. (V1 labrado, V2 y V3 labrado alternado)



del suelo y sus consecuencias sobre este; y los fenómenos de translocación y redistribución en profundidad, influidos por aquellos pero con su propia dinámica hídrica. En cuanto a las

recargas totales, y dadas las condiciones ya citadas en cuanto a climatología e imput hídrico, no se aprecian diferencias notables en ambos manejos.

En el caso del viñedo el escenario varía sustancialmente. Frente a la situación topográfica llana del olivar, el viñedo presenta una moderada pendiente unida a una mayor exposición al viento. El comportamiento general en el viñedo es de mayor contenido hídrico de los diferentes horizontes del perfil del suelo correspondiente al manejo con laboreo que en los manejos con laboreo alternado. Lo mismo sucede con la recarga total de los perfiles en este cultivo. Debería tenerse en cuenta la posible influencia de la componente horizontal en los procesos de infiltración y translocación, inexistentes en el olivar, y que podrían explicar, al menos en parte, la mayor persistencia de humedad en superficie, atribuible a aportaciones de las zonas circundantes y su posición relativa en el terreno.

Quizá sea necesario insistir en que los efectos observados se han producido bajo condiciones límite, en las cuales probablemente no hayan podido ponerse en evidencia los comportamientos diferenciales que pudieran ser atribuidos a las diferentes estrategias utilizadas, ya que las citadas condiciones límite se sobreponen e imponen a estas.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en los años de la experimentación son alentadores, tanto por el incremento de biodiversidad, con un porcentaje de leguminosas que las asemeja a un pasto en el olivar, como por el frenado de los procesos erosivos, el incremento progresivo de C y N en el suelo, y la tendencia de una producción sostenible aunque irregular. Los resultados permiten recomendar, la presencia de leguminosas herbáceas acompañantes a los cultivos, durante toda la época de otoño e invierno; la biomasa producida, cubre el suelo en un 40 %, introduce energía al sistema, evita lavados de nutrientes, controla erosión y aumenta la biodiversidad. En otras palabras tenemos trabajando el sistema en otoño e invierno.

Dado las circunstancias meteorológicas de estos últimos años, no disponemos aún de la información que sería necesaria para el conocimiento del comportamiento del agua en el suelo de ambos cultivos. La diferente topografía y pendiente de ambos terrenos parecen tener una importancia destacada, hecho que a todas luces parece muy lógico.

Agradecimientos: A La Comunidad de Castilla-La Mancha, por la financiación de las investigaciones realizadas.

Bibliografía

- Bergen SD., Bolton S. M., Fridley J.L. (2001) *Design principles for ecological engineering. Ecological Engineering*, 18: 201-210.
- Gattie DK., Smith MC., Tollner EW., McCutcheon SC. (2003) *The emergent engineering as a discipline. Ecological Engineering*, 20: 409-420.
- Hernández AJ., Pastor J. (1989) *Técnicas analíticas para el estudio de las interacciones suelo-planta. Henares Rev. Geol.* 3: 67-102.
- Hernández AJ., Estalrich E., Minguez A., Pastor J. (1997) *Incidencia de las cubiertas herbáceas en la conservación de suelos y en la humedad edáfica de los agrosistemas semiáridos. Edafología*, 2: 153-159.
- Hernández AJ., Estalrich E., Pastor J. (1998) *Ensayos para la conservación de la biodiversidad y protección en suelos de olivar y viñedo*. En: *Conservación Ambiental*, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Vigo, pp. 33-36.
- Hernandez AJ., Prieto N., Pastor J. (2001) *Management of an olive crop in a semiarid environment using sown or resident leguminous covers*. In: *Conservation Agriculture, a*

Worldwide challenge, (L. Garcia-Torres, J. Benites and A. Martinez-Vilela, eds.). ECAF and FAO, European Conservation Agriculture Federation, Madrid, Spain, pp. 419-423

Hernández AJ., Lacasta C., Pastor J. (2002a) *Assessment of integrated soil conservation and improvement treatments for olive and vine crops in semiarid environments*. In: *Man and Soil at the Third Millennium*. J. L. Rubio, R.P.C. Morgan, S. Asins, V. Andreu (Eds), Geoforma Ediciones, Spain, pp. 2141- 2153.

Hernández AJ., Pastor J., Prieto N., Lacasta C. (2002b) *Evaluación de cubiertas de tréboles subterráneos y de vegetación residente encaminada hacia estrategias de manejo para establecer un viñedo ecológico*. En: *La agricultura y ganadería ecológicas en un marco de diversificación y desarrollo solidario*. Dapena de la Fuente, E.; Porcuna Coto, J.L. (eds.): SEAE-LERIDA, Gijón., pp. 645-657.

Hernandez AJ., Prieto N., Pastor J. (2002). *Effects of Leguminous Plants Covers on Soil Fertility and Olive Production in an Olive Plantation of Continental Climate*. In: *VII Congress of the European Society for Agronomy*. Junta de Andalucía, pp. 497-498.

Hernández AJ., Gil A., Pastor J. (2003). *Estudio de barbechos en el territorio arcósico de Toledo sobre distintos tipos de suelo y sometidos a diferentes usos*. En: *Pastos, Desarrollo y conservación*. Robles-Cruz. A.B. et al. (Eds.). Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Granada, pp. 735-741.

Hernández AJ., Lacasta C., Pastor J. (2004) *Cubiertas vegetales para un viñedo ecológico en zonas semiáridas*. Fundació Càtedra Iberomericana N° 4. *Colección cursos y conferencias*. http://www.uib.es/catedra_iberomericana/publicaciones/seae.

Hernández AJ., Lacasta C., Pastor J. (2005) *Effects of different management practices on soil preservation and soil water in a rainfed olive orchard*. *Agricultural Water Management* 77: 232-248.

Hernández A.J., Rodríguez J., Hernández M., Turnero A., Pastor, J. (2005). *Manejo dinámico para un viñedo ecológico*. En: *¿Tiene futuro el Secano en España?*. Boletín de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica, nº 18: 34-35.

Kangas PC. (2004) *Ecological Engineering. Principles and Practice*. Lewis Publishers. USA.

Pajarón M. (2005) *Del olivar convencional al ecológico ¿conversión o transición?*. En: *Fertilidad de la tierra*, 20: 21-26.

Pastor J., Hernández AJ. (2003) *Empleo de cubiertas de trébol subterráneo en olivar y viñedo frente al laboreo y no laboreo en estos agrosistemas*. En: *Pastos, desarrollo y conservación*. Robles-Cruz. A.B. et al. (Eds.). Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Granada. pp. 721-727.

Pastor J., Hernández AJ. (2004). *Ecological engineering in the management of an olive orchard on degraded soil*. In: *Managing Land Quality to Reduce Degradation*. Proc. Fourth International Conference on Land Degradation (ICLD4). A. Faz, R. Ortiz and G. García (eds.) Quaderna Editorial, Alicante, pp. 247-248.& CD.

Pastor J., Hernández AJ. *Plant covers for the conservation management of a dry farmed olive and vine orchards on the arid degraded soils of central Spain*. In: *The challenge of agriculture, the environment, the energy and the new common agrarian policy*. Conservation Agriculture European Federation, pp.567-572.

Pastor J., Hernández AJ. (2006) *Impact of including subclover in managed spontaneous leguminous covers for woody crops in semiarid conditions*. In: *Sustainable Grassland Productivity: Grassland and climate change*, Proceedings of EGC06. EGF. Badajoz.

Pastor J., Hernández AJ. (2007) *Servicios de las cubiertas de vegetación autóctona en agroecosistemas leñosos para la conservación del suelo y de la biodiversidad, y el atrapamiento del C y del N atmosférico*. ceiCAG I, Congreso Nacional sobre Cambio Global, Madrid.

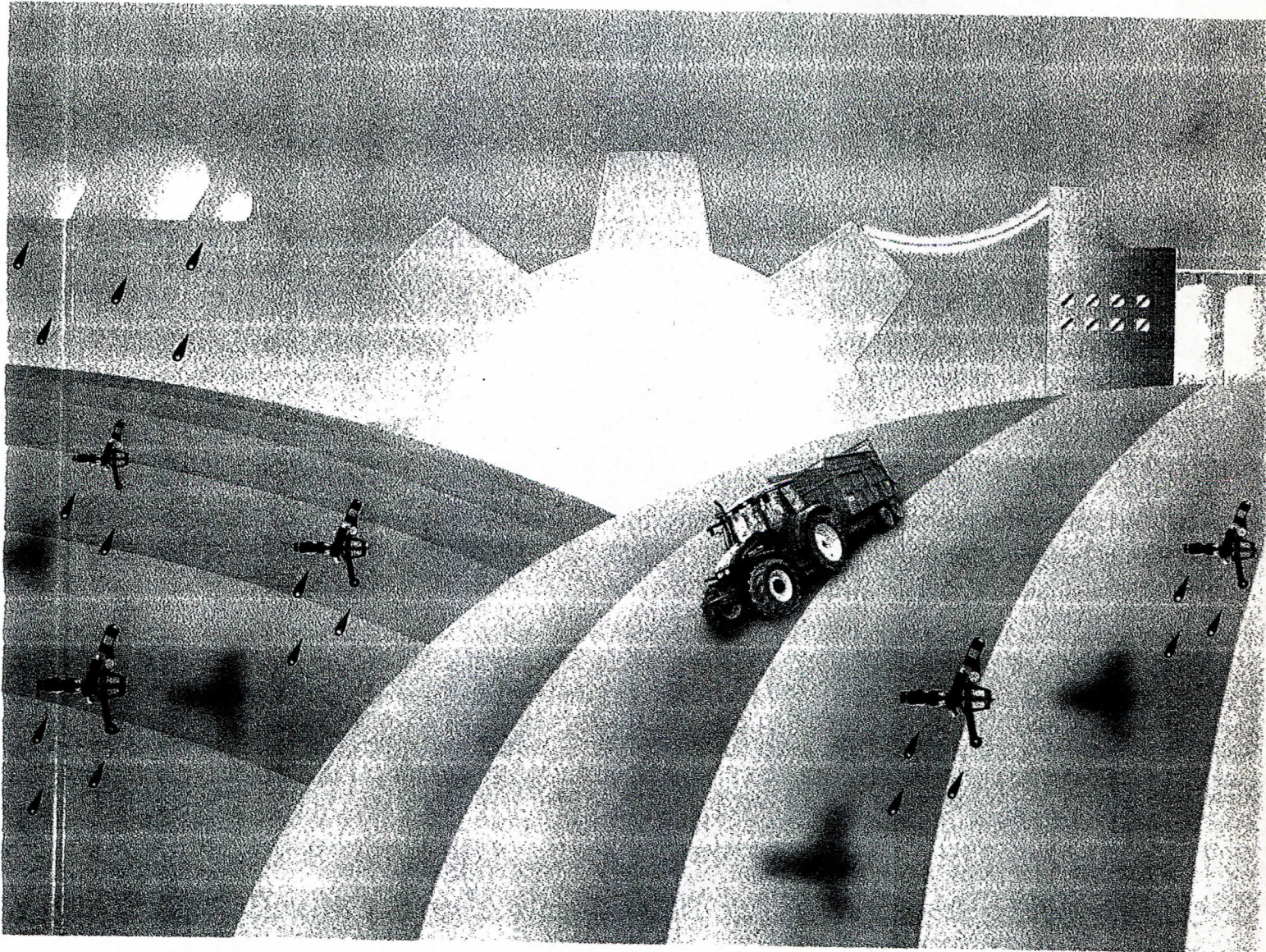
Pastor J., Hernández AJ., Pérez-Leblic M^aI., Rodríguez J. (2007) *Parámetros de evaluación de la sostenibilidad de diferentes manejos para un olivar ecológico*. ECOLIVA 2007, VI Jornadas Internacionales de Olivar Ecológico, Puente de Génave, Jaén (en prensa).

Pastor J., Lacasta C., Hernández AJ. (2000) *Evaluación de las cubiertas vegetales en el olivar de una zona semiárida del centro de España*. *Edafología* 7 (2): 165-175.

Saavedra, M^aM., Pastor M. (2002) *Sistemas de cultivo en olivar. Manejo de Malas Hierbas y Herbicidas*. Editorial Agrícola Española, S. A.

AGROINGENIERÍA 2007

Albacete
4 - 6 Septiembre 2007



IV Congreso Nacional y I Congreso Ibérico

AGRO
Ingeniería



SOCIEDAD ESPAÑOLA DE AGROINGENIERÍA



AGROINGENIERÍA 2007



ACTAS

IV Congreso Nacional y I Congreso Ibérico de

Albacete 4 al 6 de septiembre del 2007

